

## سافت کاشی کف با استفاده از ضایعات شیشه‌های سیلیکاتی

فاطمه میرجلیلی<sup>۱</sup>، شهرزاد ممسنی<sup>۱</sup>، سید مسین بدیعی<sup>۱</sup>، اسماعیل صلامی<sup>۲\*</sup> و ایمان مباشرپور<sup>۲</sup>

(۱) گروه سرامیک دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

(۲) پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی، کرج، E-salahi@merc.ac.ir

\* عهده‌دار مکاتبات

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۱۶؛ تاریخ دریافت اصلاح شده: ۸۹/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۲۳

### چکیده

در این تحقیق، نمونه‌هایی با نسبت‌های گوناگون درصد وزنی افزودنی ضایعات شیشه‌ای تهیه و پس از مخلوط کردن و پرس در فشار نهایی ۲۸۰ بار، در دمای ۱۱۶۰°C به مدت ۴۸ دقیقه پخته و مهمترین خواص آن شامل درصد جذب آب، درصد انقباض و استحکام پخت، اندازه‌گیری شدند. برای بررسی فازهای تشکیل شده در ریزساختار کاشی کف تولید شده، از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد. همچنین بررسی رفتار حرارتی نمونه‌ها، به کمک روش‌های دیلاتومتری و آنالیزهای حرارتی هم‌زمان (STA) انجام شد. نتایج نشان داد، که با افزایش ضایعات شیشه‌ای تا ۴/۶ درصد وزنی به ترکیب اولیه کاشی کف، ویژگی‌های کاشی به‌طور مطلوبی افزایش می‌یابد، ولی با افزایش این مقدار، خواص مطلوب و استاندارد کاهش خواهد یافت. همچنین اثر دما نیز بر روی این نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد، که با افزودن ضایعات شیشه‌ای از دمای مورد نیاز برای پخت کاشی، کاسته می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آنالیز پراش پرتو ایکس، آنالیزهای حرارتی هم‌زمان، دیلاتومتر، درصد انقباض.

### ۱- مقدمه

شیشه، در حدود دمای ۱۵۰۰ درجه‌ی سانتیگراد است، اما با استفاده از فناوری‌های جدید، پودر شیشه در دمای حدود ۸۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، یک محصول مترکم تولید می‌کند (Barbieri & Lancellotti 2004, Lee et al. 2007).

در این روش، نمونه‌های اولیه از منابع خرده‌شیشه‌ی تجاری ساخته و مطابق با استانداردهای موجود برای ساخت کاشی مورد آزمایش قرار می‌گیرند (Juoi et al. 2008, Campos et al. 2004). نتایج نشان داد که نمونه‌های اولیه به‌عنوان کاشی دیواری، کاشی استخر و سایر موارد کاربرد کاشی، مناسب می‌باشند (Boccaccini et al. 1996). به‌علاوه استفاده از مواد اولیه‌ی ارزان قیمت‌تر که انرژی کمتری برای ساخت و تولید آنها نیاز است، روش جدید ساخت در صنعت تولید کاشی نیز قابلیت رقابت را خواهد داشت (Bernardo et al. 2010). کاشی‌های سرامیکی تولید شده با این روش جدید، باید از پذیرش و مقبولیت گسترده‌ای برخوردار باشند (Tucci et al. 2004, Campos et al. 2008, Juoi et al. 2008).

از گذشته‌های بسیار دور، محصولات سرامیکی با استفاده از مواد خامی تولید می‌شده‌اند، که برای سببتر، از دماهای بالا و فناوری‌های به‌شدت انرژی‌بر استفاده می‌شده است (Colombo et al. 2009). فناوری نوین توسط پژوهشگران، از کارایی لازم برای کاستن هزینه‌های انرژی در مقایسه با روش سنتی تولید محصولات سرامیکی به کمک جایگزین کردن شیشه‌های ضایعاتی بازیافت شده به‌جای مواد خام مصرفی برخوردار است (Luz & Ribeiro 2007, Mangutova et al. 2010, Bernardo et al. 2004). پخت کاشی کف، به‌طور معمول در محدوده دمای ۱۲۰۰ درجه‌ی سانتیگراد انجام می‌شود. فناوری‌های نوین با کاهش دمای لازم برای تولید و حذف مراحل استخراج و سایر مراحل ساخت، از انرژی مصرفی تولید می‌کاهند. در تولید کاشی به‌روش ذوب شیشه، مرحله‌ی گرم کردن تدریجی حذف می‌شود. این مرحله به‌طور سنتی برای کاستن از تنش‌های داخلی پس از شکل‌دهی مورد نیاز می‌باشد. دمای مورد نیاز برای ذوب کردن

جارمیل آزمایشگاهی با درصد رطوبت ۵۰-۴۵ درصد تهیه، دوغاب مورد نظر خشک و کلوخه‌های حاصل، دانه‌بندی می‌شوند. سپس به پودر حاصل، مقدار ۶-۵ درصد رطوبت زده و به مدت ۲۴ ساعت در ظرف سربسته نگهداری می‌شود. با استفاده از دستگاه پرس مدل (Gabbrielli-semiautomatic press) با حداکثر ظرفیت ۱۰۶ تن، نمونه‌ها در یک قالب فولادی با ابعاد ۱۰۰ در ۲۰۰ میلی‌متر با فشار نهایی  $280 \text{ kg/cm}^3$  شکل داده شدند. خشک‌کردن نمونه‌ها در دمای  $110^\circ\text{C}$  صورت گرفت و در نهایت نمونه‌ها در کوره‌ی رولری در دمای  $1160^\circ\text{C}$  و مدت زمان ۶۰ دقیقه برای یافتن درصد بهینه‌ی پودر ضایعات شیشه‌ای سینتر شدند. برای بررسی امکان کاهش دمای پخت، نمونه‌های بهینه از نظر خواص، در دماهای ۱۰۰۰، ۱۰۵۰، ۱۱۰۰ و  $1130^\circ\text{C}$  درجه‌ی سانتیگراد سینتر شدند.

به منظور بررسی مشخصات فیزیکی، درصد انقباض و میزان جذب آب همه‌ی نمونه‌ها مطابق با استانداردهای ایران صورت پذیرفت. استحکام پخت نمونه‌های تولیدی نیز با استفاده از یک دستگاه (CRC Gabrielli) به روش سه نقطه‌ای اندازه‌گیری شد. برای تعیین فازهای تشکیل شده، از روش پراش پرتو ایکس (XRD) مدل (STOE) استفاده شد. رفتار حرارتی نمونه‌ها نیز با استفاده از دیلاتومتری (DIL: Netzsch Germany 402pc) و آنالیز حرارتی هم‌زمان (STA: Netzsch Germany 409pc) بررسی شد.

در این پژوهش سعی شده است که درصد بهینه‌ی استفاده از ضایعات شیشه‌ای در کاشی کف و خواص کاشی تولید شده با این فناوری نو، بررسی و مقدار صرفه‌جویی انرژی لازم برای رسیدن به دمای مناسب پخت این ترکیب جدید، تعیین شود.

## ۷- فعالیت‌های تجربی

در جدول ۱ آنالیز شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در ساخت کاشی کف به همراه آنالیز شیمیایی ضایعات شیشه‌ای مورد استفاده، مشاهده می‌شود. در ادامه، سه ترکیب انتخاب شد که به طور معمول در ساخت کاشی کف استفاده می‌شوند. مقدار مواد اولیه در این سه ترکیب که با اسامی M1, M2, M3 نامگذاری شده‌اند، در جدول ۲ دیده می‌شوند. سپس ضایعات شیشه‌ای با استفاده از سنگ‌شکن فکی و چکشی به مدت نیم ساعت خرد و آسیاب، تا همگن و ریزدانه شدند. پس از انتخاب مواد اولیه، با در نظر گرفتن درصدهای وزنی گوناگون، پودر ضایعات شیشه‌ای (از ۱/۱۵ تا ۶/۹ درصد وزنی) و کاهش میزان فلدسپات به همان نسبت، ۱۲ فرمول از ترکیبات جدید برای ساخت بدنه‌های کاشی کف ارائه شد، که با شناسه‌های M4 تا M15 در جدول ۲ نشان داده شده است.

روش ساخت قطعات برای بررسی مشخصات و خواص محصول تولید شده، بدین صورت بود که ابتدا دوغاب مواد اولیه به وسیله

جدول ۱- آنالیز شیمیایی تک خاک‌های مورد استفاده در ساخت کاشی کف

نام خاک	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MgO	ZrO <sub>2</sub>	BaO	L.O.I
بالکلی SP <sub>500</sub>	۵۰/۲۰	۲۵/۴۹	۱۰/۴۸	۲/۵۸	۱/۶۲	۰/۵۰۳	۰/۳۶۶	۰/۳۲۴	۰/۲۶۰	۰/۱۷۶	۰/۱۶۱۳	۰/۰۵۳۷	-
کاتولن قره چمن	۵۴/۲۸	۱۹/۰۷	۸/۲۲	۴/۲۰	۰/۸۱۶	۰/۵۲۵	۱/۰۹	۲/۶۵	۰/۱۹۷	۰/۴۶۸	۰/۴۳۵	۰/۲۰۶	-
بالکلی هامانه	۶۴/۷۸	۱۹/۴۸	۱/۸۵	۳/۶۹	۰/۸۵	۱	۱/۷۱	۰/۱	۰/۱۱	۰/۷۱	-	-	۵/۸۲
فلدسپات A <sub>40</sub>	۷۷/۵۸	۱۱/۶۵	۲/۴۲	۳/۸۲	۰/۳۳	۰/۱۶	۰/۶۸	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۳۹	-	-	۲/۰۴
فلدسپات Sf <sub>20</sub>	۷۴/۴۲	۱۴/۱۲	۰/۲۲	۵/۷۱	-	۳/۷۹	۰/۶۶	-	-	-	-	-	۰/۶
فلدسپات Sf <sub>10</sub>	۶۵/۳۹	۱۹/۹۵	۰/۰۹	۰/۶۳	۰/۰۹	۱۰/۷۹	۱/۴۹	-	-	۰/۱۱	-	-	۱/۵
بتونیت سمنان	۶۸/۱۶	۱۱/۶۶	۱/۲۱	۱/۳	۰/۱۴	۰/۴۳	۴/۲۰	۰/۱۱	-	۴/۲۰	-	-	۱۰/۰۶
ضایعات شیشه	۷۱/۵۰	۳/۳۸	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۰۷	۹/۵۰	۰/۱۲	۰/۳۷	-	۴/۲۲	-	-	-

جدول ۲- فرمول‌های ارائه شده برای ساخت کاشی کف با استفاده از ضایعات شیشه‌ای

نام خاک	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>7</sub>	M <sub>8</sub>	M <sub>9</sub>	M <sub>10</sub>	M <sub>11</sub>	M <sub>12</sub>	M <sub>13</sub>	M <sub>14</sub>	M <sub>15</sub>
بالکلی SP <sub>500</sub>	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵
بالکلی هامانه	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
کاتولین تره چمن	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
فلدسپات A <sub>40</sub>	۲۳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
فلدسپات Sf <sub>10</sub>	-	۲۳	-	۲۱/۸۵	-	۲۰/۷	-	۱۹/۵۵	-	۱۸/۴	-	۱۷/۲۵	-	۱۶/۱	-
فلدسپات Sf <sub>20</sub>	-	-	۲۳	-	۲۱/۸۵	۲۰/۷	-	۱۹/۵۵	-	۱۸/۴	-	۱۷/۲۵	-	۱۶/۱	-
پودر شیشه	-	-	-	۱/۱۵	۱/۱۵	۲/۳	۲/۳	۳/۴۵	۳/۴۵	۴/۶	۴/۶	۵/۷۵	۵/۷۵	۶/۹	۶/۹
بتونیت	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲

### ۳- نتایج و بحث

نمونه‌های مطلوب و بهینه  $M_{10}$  و  $M_{11}$  در دماهای  $1130^{\circ}\text{C}$ ،  $1100^{\circ}\text{C}$ ،  $1050^{\circ}\text{C}$  و  $1000^{\circ}\text{C}$  پخت، خواص آن‌ها اندازه‌گیری و با نمونه‌های کارخانه که در دمای  $1160^{\circ}\text{C}$  پخته شده بودند، مقایسه شد. با توجه به نتایج به دست آمده که در جدول ۴ ارائه شده، مشاهده می‌شود که نمونه‌های بهینه‌ی پخته شده، در دمای  $1130^{\circ}\text{C}$  دارای درصد جذب آب و انقباض مناسب و مطابق با استانداردهای کارخانه می‌باشند و حتی درصد جذب آب آن‌ها از نمونه‌های کارخانه کمتر است. بنابراین می‌توان با استفاده از ضایعات شیشه، دمای پخت را کاهش داد. این ویژگی به حضور فاز شیشه مربوط می‌شود، که نقطه‌ی نرم‌شوندگی را کاهش داده و نسبت به گدازآور بیشتر در دمای پایین‌تر، چگالی بهتری پدید آید. همچنین افزایش استحکام قطعات تولید شده را می‌توان به کاهش درصد تخلخل‌ها، ناشی از تشکیل فاز شیشه در دمای پایین‌تر نسبت داد و در نهایت با کاهش دما، بر کاهش مصرف انرژی تأثیر بسزایی دارد (Luz & Ribeiro 2007). میزان درصد صرفه‌جویی، بر پایه‌ی کاهش دمای پخت برابر  $2/6$  درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) نشان می‌دهد، که تمام نمونه‌ها (نمونه‌ی کارخانه  $M_1$  و نمونه‌های ساخته شده با درصد بهینه‌ی ضایعات شیشه‌ای  $M_{10}$  و  $M_{11}$ )، دارای فاز کوارتز می‌باشند. همچنین در نمونه‌های دارای ضایعات شیشه‌ای اندکی فاز مولایت مشاهده می‌شود، که به علت پایین بودن دمای پخت  $1160^{\circ}\text{C}$ ، ذرات سوزنی شکل مولایت به‌طور کامل تبلور نیافته است (Colombo et al. 2009). الگوی پراش پرتو ایکس نمونه‌های دارای درصد بهینه‌ی

با توجه به روش تهیه‌ی نمونه‌ها، درصد گوناگون پودر ضایعات شیشه از  $1/15$  الی  $6/9$  درصد وزنی در ازای کاهش درصد فلدسپات مصرفی در فرمول اولیه‌ی خاک مورد استفاده برای تولید کاشی کف جایگزین شده و خواص نهایی محصولات پخته شده در دمای  $1160^{\circ}\text{C}$  اندازه‌گیری شدند. بدنه‌های  $M_3$  و  $M_2$  و  $M_1$  بدون افزایش پودر شیشه می‌باشند. با توجه به جدول ۳، با افزایش درصد ضایعات شیشه‌ای و بررسی خواص آن‌ها، می‌توان مشاهده کرد که در بدنه‌های  $M_6$  تا  $M_{11}$ ، خواص به‌شدت بهبود یافته، ولی با افزایش بیشتر ضایعات شیشه‌ای، خواص آن‌ها افت می‌کند. نمونه‌های  $M_6$  و  $M_7$  تا حدودی استحکام پایین‌تری دارند، ولی نمونه‌های  $M_8$  تا  $M_{11}$ ، استحکام بالاتری داشته که در واقع می‌توان نتیجه گرفت، با افزایش حدود  $3/45$  و  $4/6$  درصد وزنی پودر شیشه، تمام خواص بهبود یافته است. در بین نمونه‌های  $M_8$  تا  $M_{11}$ ، نمونه‌های  $M_{10}$  و  $M_{11}$  که دارای  $4/6$  درصد ضایعات شیشه‌ای می‌باشد، از تمام نمونه‌ها خواص مطلوبتری داشته و استحکام پخت بالاتری نسبت به نمونه‌های  $M_9$  و  $M_8$  دارند. همچنین دارای درصد انقباض کمتری نیز می‌باشند. پس می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش حدود  $4/6$  درصد ضایعات شیشه‌ای، استحکام پخت، درصد جذب آب و درصد انقباض بهبود می‌یابد، ولی با افزایش درصد وزنی ضایعات شیشه‌ای خواص آن‌ها کاهش می‌یابد. بدین ترتیب در این مرحله، نمونه‌های  $M_{10}$  و  $M_{11}$  به‌عنوان نمونه‌های بهینه انتخاب شدند.

جدول ۳- مقایسه‌ی خواص به دست آمده از کاشی‌های کف پخته شده در دمای  $1160^{\circ}\text{C}$  با استفاده از ضایعات شیشه‌ای

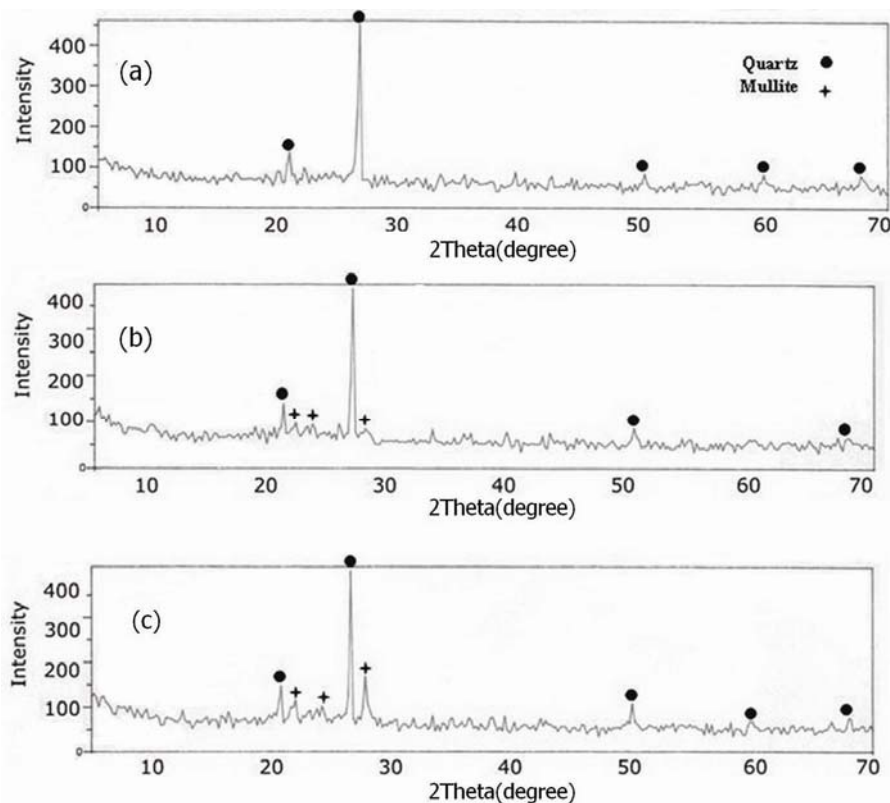
خواص فیزیکی	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$M_4$	$M_5$	$M_6$	$M_7$	$M_8$	$M_9$	$M_{10}$	$M_{11}$	$M_{12}$	$M_{13}$	$M_{14}$	$M_{15}$
استحکام پخت $\text{kg/cm}^2$	370/3	279	265/8	368/3	371/1	399/5	319/1	401	400	404/6	416/7	400/9	392/7	382/19	301/11
درصد جذب آب	3/1	4/8	3/9	3/97	3/45	2/81	3/73	2/7	3/45	2/81	2/6	3/03	2/7	3/89	3/84
درصد انقباض	5/75	5/1	5/85	5/27	5/89	5/99	5/7	6/5	5/9	7/35	6/08	6/87	5/35	6	5

جدول ۴- بررسی اثر دما بر ویژگی‌های نمونه‌های کاشی کف تهیه شده با استفاده از ضایعات شیشه‌ای

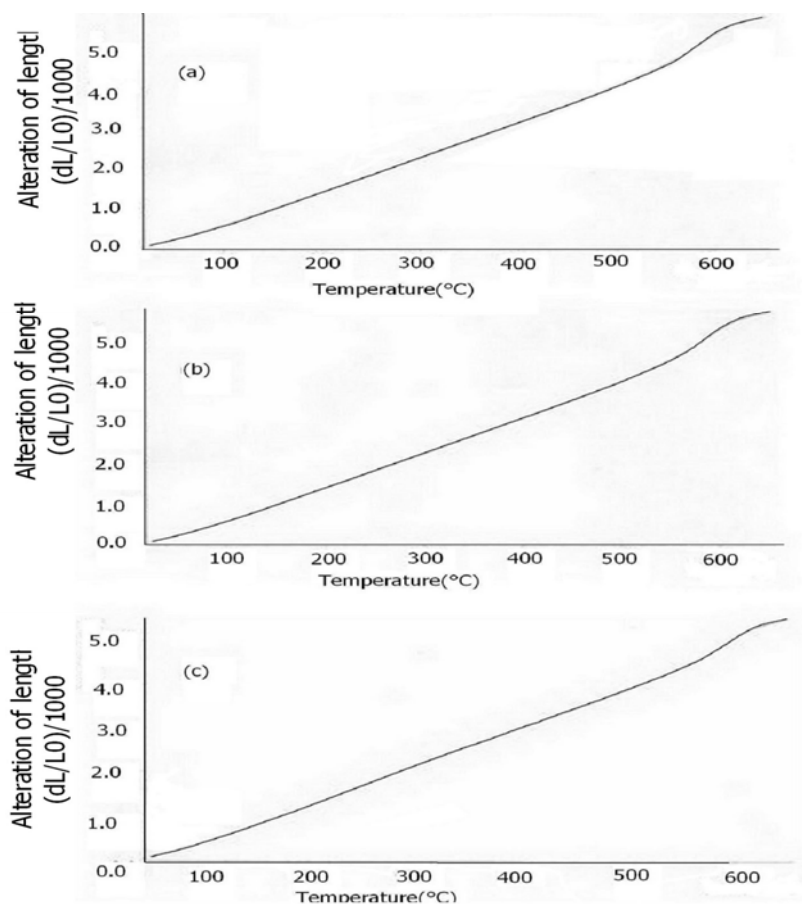
خواص فیزیکی	$1000^{\circ}\text{C}$		$1050^{\circ}\text{C}$		$1100^{\circ}\text{C}$		$1130^{\circ}\text{C}$		دما
	جذب آب	انقباض	جذب آب	انقباض	جذب آب	انقباض	جذب آب	انقباض	
$M_1$	14/34	0/41	12/04	1/755	6/52	5/11	2/09	7/216	$1130^{\circ}\text{C}$
$M_2$	13/59	0/43	12/053	1/29	7/94	3/3	2/18	6/21	$1100^{\circ}\text{C}$
$M_3$	12/91	0/58	11/75	1/208	6/96	3/82	2/03	6/165	$1050^{\circ}\text{C}$
$M_{10}$	11/23	0/255	9/29	1/35	5/62	2/87	1/78	4/45	$1000^{\circ}\text{C}$
$M_{11}$	12/06	0/658	9/048	1/14	6/103	3/48	1/59	5/36	

است. این کاهش وزن، تأیید کننده‌ی وجود کانی‌های گروه سیلیکات‌های ورقه‌ای مانند کائولینیت در همه‌ی نمونه‌هاست. در دمای  $1000^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$  نیز کاهش وزن قابل توجهی در حدود ۳ درصد در نمونه‌ها مشاهده می‌شود که مربوط به خروج گاز  $\text{CO}_2$  و تجزیه‌ی کربنات‌های موجود در نمونه‌هاست. کاهش جزئی وزن از دمای  $1200^{\circ}\text{C}$  -  $1000^{\circ}\text{C}$  را می‌توان به تجزیه‌ی سولفات‌ها و خروج گاز ناشی از این تجزیه نسبت داد. در منحنی آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) نمونه‌ها، پیک گرماگیری در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  مشاهده می‌شود، که می‌تواند به دلیل خروج آب سطحی از نمونه باشد. در دمای  $400^{\circ}\text{C}$  یک پیک گرمازا قابل تشخیص است که نشانگر وجود مواد آلی در نمونه و ناشی از سوختن آن‌هاست. در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$  پیک‌های گرماگیر، مربوط به خروج آب تبلور مشاهده می‌شود. در دمای  $800^{\circ}\text{C}$  -  $600^{\circ}\text{C}$  پیک‌های گرماگیر دیگری وجود دارند که می‌تواند ناشی از خروج کربنات‌ها باشد. در دمای  $1000^{\circ}\text{C}$  -  $850^{\circ}\text{C}$  پیک‌های گرمازایی دیده می‌شود که به دلیل تبلور دوباره‌ی کانی‌های رسی مثل کائولینیت (تشکیل اسپینل) است. نتایج آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) تا این دما حدود زیادی نتایج ترموگراویمتری (TGA) را تأیید می‌کند. همچنین در دمای  $1200^{\circ}\text{C}$  -  $1000^{\circ}\text{C}$  نیز واکنش گرماگیر و زمان‌بری که وابسته به نفوذ

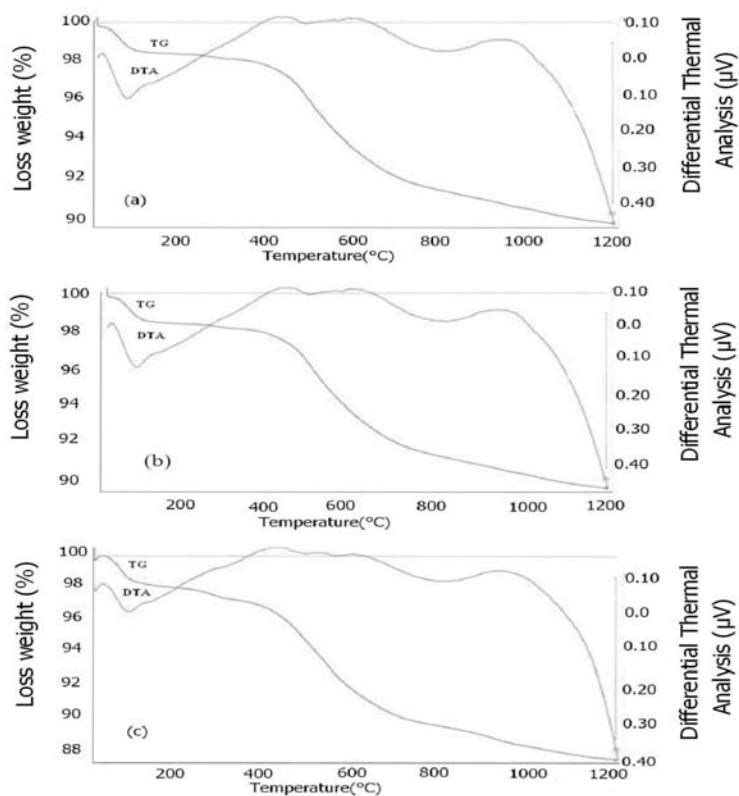
ضایعات شیشه‌ای و نمونه‌ی خاک کاشی کف مورد استفاده در کارخانه‌ی کاشی، در تصویر ۱ دیده می‌شود. تصویر ۲ منحنی دیلاتومتری، بدنه  $M_1$  را نشان می‌دهد که در مقایسه با منحنی دیلاتومتری نمونه‌های دارای درصد بهینه، رفتاری بسیار مشابه دارند، این امر نشان‌دهنده‌ی آن است که بدون آن‌که تغییراتی در لعاب ایجاد شود، بدنه‌های دارای درصد بهینه‌ی ضایعات شیشه‌ای هم‌خوانی خوبی خواهند داشت و می‌توان لعاب موجود را نیز بر روی آن‌ها اعمال کرد. با مقایسه‌ی منحنی‌های دیلاتومتری با یکدیگر همان‌طور که اشاره شد، همه‌ی منحنی‌ها تقریباً مشابه یکدیگر هستند. منحنی‌های آنالیز حرارتی هم‌زمان نمونه‌های خام بهینه نیز با منحنی بدنه‌ی تهیه شده در کارخانه، هم‌خوانی خوبی داشت. با توجه به منحنی آنالیز حرارتی این نمونه‌ها که در تصویر ۳ دیده می‌شود، باید اشاره کرد، همه‌ی نمونه‌ها دارای مقدار کمی رطوبت سطحی هستند که در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  از بدنه خارج شده است. میزان کاهش وزن در این محدوده در حدود ۳ درصد است. در دمای  $300^{\circ}\text{C}$  نیز کمی کاهش وزن دیده می‌شود، که مربوط به سوختن مواد آلی و خروج گاز از نمونه می‌باشد. در دمای  $600^{\circ}\text{C}$  -  $200^{\circ}\text{C}$  درجه‌ی سانتیگراد کاهش وزن حدود ۶ درصد در نمونه‌ها دیده می‌شود که مربوط به خروج آب تبلور



تصویر ۱- الگوی پراش پرتو X (الف) بدنه  $M_1$  (ب) بدنه  $M_{11}$  (ج) بدنه  $M_{11}$



تصویر ۲- منحنی دیلاتومتری الف) بدنه  $M_1$  ب) بدنه  $M_{10}$  ج) بدنه  $M_{11}$



تصویر ۳- منحنی آنالیز حرارتی همزمان الف) بدنه  $M_1$  ب) بدنه  $M_{10}$  ج) بدنه  $M_{11}$

**Juoi, J. M., Ojovan, M. I. & Lee, W. E., 2008**, "Microstructure and leaching durability of glass composite wastefoms for spent clinoptilolite immobilization", *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 372(2-3): 358 – 366.

**Lee, W. E., Boccaccini, A. R., Labrincha, J. A., Leonelli, C., Drummond, C. H. & Cheeseman, C. R., 2007**, "Ceramic technology and sustainable development", *The Bulletin of the American Ceramic Society*, Vol. 86: 18-25.

**Luz, A. P. & Ribeiro, S., 2007**, "Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures", *Ceramics International*, Vol. 33(5): 761-765.

**Mangutova, B., Angjuševa, B., Miloševski, D., Fidan-čvska, E., Bossert, J. & Miloševski, M., 2004**, "Utilization of fly ash and waste glass in production of glass – ceramics compositions", *Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia*, Vol. 23(2): 157-162.

است اتفاق می‌افتد. این واکنش مربوط به ذوب تدریجی نمونه است. در این دماها فاز یا فازهایی با نقطه‌ی ذوب کمتر در نمونه شروع به ذوب شدن می‌کند. این دما نقطه‌ی سیتر این ترکیب را می‌تواند تا حدودی نشان دهد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

با افزایش درصد ضایعات شیشه‌ای به کاشی کف، خواصی مانند استحکام پخت، درصد جذب آب و درصد انقباض بهبود می‌یابد، که مقدار بهینه‌ی آن حدود ۴/۶ درصد وزنی ضایعات شیشه‌ای می‌باشد و با افزایش بیشتر، خواص بدنه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش درصد ضایعات شیشه‌ای، دمای مورد نیاز برای پخت کاشی کف کاهش خواهد یافت. بررسی‌های حاصل از آنالیز حرارتی نشان می‌دهد که با افزایش درصد ضایعات شیشه در بدنه‌ی کاشی کف، بدون آن‌که تغییراتی در لعاب ایجاد شود، بدنه و لعاب هم‌خوانی خوبی دارند. همچنین نتایج حاصل از آنالیزهای فازی نشان می‌دهد که نمونه‌ها دارای فاز کوارتز و در نمونه‌های دارای ضایعات شیشه‌ای مقدار اندکی فاز مولایت می‌باشد.

#### تشکر و قدردانی

از دست‌اندرکاران شرکت کاشی گلچین میبد مخصوصاً جناب آقای مهندس جلال‌زاده و همچنین مسئولین محترم آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### مراجع

**Barbieri, L. & Lancellotti, I., 2004**, "Incinerator waste as secondary raw material: examples of applications in glasses, glass-ceramics and ceramics", In: *Giero, R. & Stille, P. (eds.), "Energy, Waste and the Environment: A Geochemical Perspective"*, Geological Society, London, Special Publications; Vol. 236: 423-433.

**Bernardo, E., Scarinci, G., Bertuzzi, P., Ercole, P. & Ramon, L., 2010**, "Recycling of waste glasses into partially crystallized glass foams", *Journal of Porous Materials*, Vol. 17 (3): 359-365.

**Boccaccini, A. R., Bucker, M. & Bossert, J., 1996**, "Glass and glass-ceramics from coal flyash and waste glass", *Tile and Brick Int.*, Vol. 12(6): 515- 525.

**Campos, M., Velasco, F., Martínez, M. A. & Torralba, J. M., 2004**, "Recovered slate waste as raw material for manufacturing sintered structural tiles", *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 24: 811-819.

**Colombo, P., Boccaccini, A. R. & Lee, W. E., 2009**, "Glasses and ceramics from waste", *Advances in Applied Ceramics*, Vol. 108: 1-1.